

< 논문 >

가변형 음속/초음속 이젝터 시스템에 관한 실험적 연구

이 준 희* · 김 희 동†

(2004년 9월 16일 접수, 2005년 3월 11일 심사완료)

An Experimental Study of the Variable Sonic/Supersonic Ejector Systems

Jun-Hee Lee and Heuy-Dong Kim

Key Words : Sonic/Supersonic Ejector(음속/초음속 이젝터), Compressible Flow(압축성 유동), Hydrogen Fuel Cell(수소연료전지), Ejector Throat Area Ratio(이젝터 목면적비), Recirculation Ratio(재순환율)

Abstract

A new method to improve the efficiency of a hydrogen fuel cell system was introduced by using variable sonic/supersonic ejectors. To obtain the variable area ratio of the nozzle throat to ejector throat which controls the mass flow rate of the suction flow, the ejectors used a movable cylinder inserted into a conventional ejector-diffuser system. Experiments were carried out to understand the flow characteristics inside the variable ejector system. The secondary mass flow rates of subsonic and supersonic ejectors were examined by varying the operating pressure ratio and area ratio. The results showed that the variable sonic/supersonic ejectors could control the recirculation ratio by changing the throat area ratio, and also showed that the recirculation ratio increased for the variable sonic ejector and decreased for the variable supersonic ejector, as the throat area ratio increases.

기호설명

A : 단면적
 L : 실린더의 이송거리
 ψ : 이젝터 목면적비 ($=A_{te}/A_{th}$)
 ϕ : 2차 유동의 재순환율 ($=\dot{m}_s/(\dot{m}_p + \dot{m}_s)$)
 M : 마하수
 \dot{m} : 질량유량

하첨자

0 : 정체조건
 p : 1차 유동
 s : 2차 유동

a : 이젝터 배압
 in : 2차유동 입구
 te : 이젝터목
 th : 노즐목

1. 서론

이젝터 시스템은 고압의 1차 유동을 이용하여 저압부의 2차 유동을 이송시키는 장치이다. 일반적으로 이젝터 시스템은 1차 구동노즐, 혼합부 및 디퓨저로 구성되며,⁽¹⁾ 1차 유동의 제트 경계에서 발생하는 전단력과 제트 내부의 압력강하에 의하여 2차 유동을 흡인한다. 이젝터 시스템은 1차 유동과 2차 유동간의 순수한 전단작용 및 혼합작용에 의해 구동되므로 효율이 낮은 단점이 있지만, 시스템의 구조가 간단하고 내부에 가동부가 없으므로 고장의 요소가 없고, 대용량의 유체를 압축/수송할 수 있으며, 유지/관리 비용이 저렴하다. 이러한 이젝터 시스템은 V/STOL 항공기의 추력증강장치⁽²⁻⁵⁾와 로켓의 고고도 상태 모사장치⁽⁶⁾를 비롯

* 회원, 안동대학교 대학원 기계공학과

† 책임저자, 회원, 안동대학교 기계공학과
E-mail : kimhd@andong.ac.kr
TEL : (054)820-5622 FAX : (054)823-5495

하여 연소시험,⁽⁷⁾ 증장비의 냉각시스템,⁽⁸⁾ 천연가스 재생,⁽⁹⁾ 식품제조,⁽¹⁰⁾ 소음저감⁽¹¹⁻¹³⁾ 등에 다양하게 활용되어 왔으며, 최근에는 수소 연료전지의 수소 소모량을 절감하는 장치에 활용되고 있다.⁽¹⁴⁾

수소 연료전지 자동차의 경우, 수소 소모량은 연료전지의 출력에 비례하여 증가하며, 연료전지에 공급된 수소의 일부는 대기로 방출된다. 이 경우 이젝터 시스템을 이용하여 수소를 연료전지 내부로 다시 순환시켜 반응에 이용하면, 수소 연료전지의 연료를 절약할 수 있으며, 연료전지의 수명을 연장시킬 수 있다.⁽¹⁴⁾

현재까지 이젝터 시스템에 관해서 많은 연구가 수행되어 왔으며,^(15,16) 이젝터 내부에서 발생하는 유동특성들이 잘 알려져 있다. 그러나 통상적인 이젝터 시스템을 사용하는 경우, 이젝터 시스템의 구동노즐과 디퓨저 등의 형상이 고정되어, 수소 연료전지의 출력변동에 무관하게 일정비율의 수소를 환원하게 되므로, 기존의 이젝터 시스템은 연료전지용으로 적합하지 않다. 따라서 연료전지에서 배출된 수소를 연료전지로 재순환시키는 기능을 수행하면서 연료전지의 출력에 연동하여 재순환되는 수소량을 조절할 수 있는 새로운 형태의 이젝터 시스템이 필요하다. 현재, 연료전지의 부하에 따라 재순환 수소량을 조절할 수 있는 가변형 이젝터 시스템에 관한 연구는 거의 없으며, 이러한 이젝터 시스템의 개발은 수소 연료전지 시스템의 실용화에 있어서 매우 중요하다.

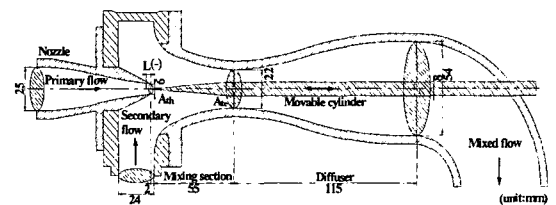
본 연구에서는 종래의 이젝터 시스템 내부에 콘형 실린더(cone-type cylinder)를 삽입하여 이젝터 목면적비를 변화시킴으로써, 가변 운전을 가능하게 하는 방법을 시도하였다. 실험에서는 수소 연료전지의 출력변동에 따라 재순환 수소량을 조절할 수 있는 가변형 이젝터 시스템의 개발을 위하여, 공기를 작동유체로 하는 가변형 음속/초음속 이젝터의 유동특성을 조사하였다. 1차 구동노즐은 축소형 음속노즐 및 축소/확대형 초음속 노즐을 사용하였으며, 이젝터 내부에 상하류로 이송이 가능한 콘형 실린더를 설치하여, 1차 구동노즐목의 단면적을 변화시켰다.

2. 실험장치 및 방법

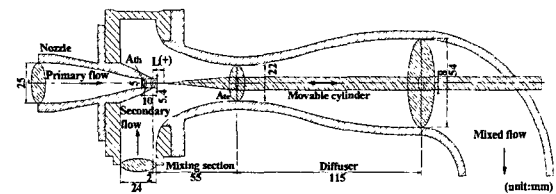
2.1 가변형 음속/초음속 이젝터

Fig. 1 과 Table 1 에는 가변형 음속/초음속 이젝터 시스템의 개략도 및 상세치수를 나타내었다. 가변형 음속/초음속 이젝터는 음속/초음속 구동노즐과 2 차목(이젝터목)을 가지는 디퓨저 및 유동방향으로 이송되는 콘형 실린더로 구성되며, 초음속 노즐의 설계 마하수를 $M = 1.49$ 로 하였다. 가변형 음속 이젝터에서 콘형 실린더는 이송거리에 따라 노즐목의 단면적(A_{th})을 변화하며, 이젝터목의 단면적(A_{te})을 일정하게 유지시킨다. 또 가변형 초음

속 이젝터에서는 콘형 실린더가 이송될 때, 노즐목의 단면적(A_{th})은 일정하게 유지되지만, 이젝터목의 단면적(A_{te})이 변화한다. 따라서 이젝터 목면적비($\psi = A_{te} / A_{th}$)는 11.88 ~ 66.69, 가변형 초음속 이젝터에서는 16.80 ~ 19.36의 범위에서 변화한다. 참고로 Fig. 2 에는 음속 및 초음속 가변형 이젝터에 있어서 콘형 실린더의 이송거리 L 와 이젝터 목면적비의 변화를 나타내었다. 실린더의 이송거리는 노즐출구를 원점으로 하여, 실린더 선단이 노즐출구 상류에 위치한 경우를 음의 값, 하류에 위치한 경우를 양의 값으로 하였다.



(a) Variable sonic ejector



(b) Variable supersonic ejector

Fig. 1 Schematics of variable sonic/supersonic ejector

Table 1 Variable sonic/supersonic ejector geometric parameters

Variable sonic ejector				Variable supersonic ejector			
ψ	A_{th} (mm ²)	A_e (mm ²)	L (mm)	ψ	A_{th} (mm ²)	A_e (mm ²)	L (mm)
11.88	27.77	329.9	-2.7	16.80	19.63	329.8	4
12.68	26.00	329.9	-8.7	17.56	19.63	344.7	14
13.78	23.94	329.9	-14.7	18.36	19.63	360.4	24
15.73	20.97	329.9	-20.7	18.90	19.63	371.0	34
18.83	17.52	329.9	-26.7	19.24	19.63	377.7	44
25.93	12.72	329.9	-32.7	19.36	19.63	380.0	54
46.88	7.04	329.9	-38.7				
66.69	4.95	329.9	-40.7				

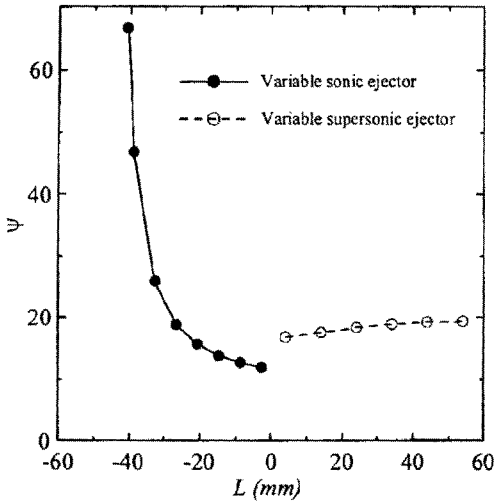


Fig. 2 Relationship between ψ and L

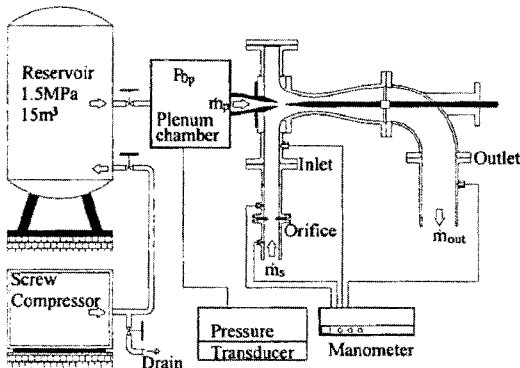


Fig. 3 Schematics of variable sonic/supersonic ejector

2.2 실험장치 및 방법

Fig. 3은 본 연구에서 사용한 실험장치의 개략도이며, 실험장치는 압축기, 압축탱크, 정체실, 가변형 음속/초음속 이젝터 및 계측시스템으로 구성된다. 압축탱크에 약 1.5MPa의 압력으로 저장된 공기는 정체실로 유도되어 정체점 상태를 회한 후, 노즐을 통과하여 이젝터 혼합부로 방출된다. 방출된 유동은 체트경계에서 발생하는 강한 충격으로 2차 유동을 흡인하며, 방출된 1차 유동 흡인된 2차 유동은 이젝터 혼합부에서 혼합 이젝터 디퓨저를 통과하여 대기로 방출된다. 1구에서는 노즐의 공급압력 p_{op} 과 이젝터 4비 p_{op}/p_a 를 이젝터의 작동압력비로 정 1동압력비 1.25~9.0의 범위에서 실험을 실험에서 정압측정은 이젝터 2차 유 이젝터 출구 및 오리피스 상/하류에

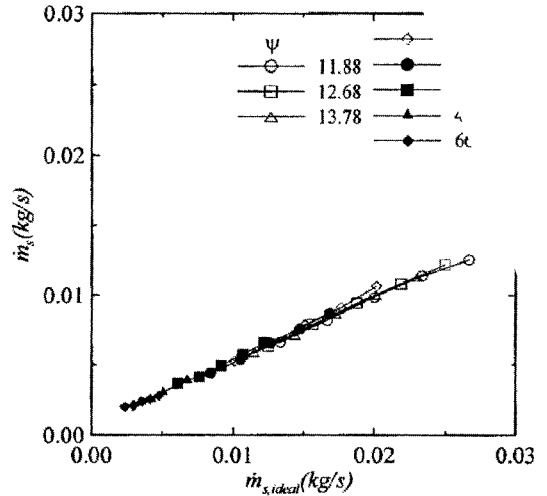


Fig. 4 Relationship between \dot{m}_s and $\dot{m}_{s,ideal}$

서 수는 마노미터로 측정하였다.

실험에서 노즐로부터 방출되는 유동의 질량유량 \dot{m}_p 은 정체실의 압력으로부터 계산되며,⁽¹⁷⁾ 2차 유동의 질량유량 \dot{m}_s 은 2차 유동의 입구에 설치한 오리피스를 이용하여 다음과 같은 방법으로 얻었다.⁽¹⁸⁾ 여기에서 오리피스 상류 및 하류의 압력을 각각 p_1 과 p_2 로, 밀도를 각각 ρ_1 과 ρ_2 로 하고, 관의 단면적을 A_1 , 오리피스의 개구면적을 A_2 , 오리피스 유출계수를 C_o 라 하면, \dot{m}_s 는 다음의 식으로 주어진다.

$$\dot{m}_s = C_o \dot{m}_{s,ideal}$$

$$= C_o \rho_2 A_2 \left[\frac{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{p_1}{\rho_1} \left\{ 1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\}^{\frac{1}{2}}}{1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{\gamma}} \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2} \right] \quad (1)$$

위의 식에서 오리피스 상류의 정압 p_1 , 온도 T_1 , 오리피스 상/하류의 차압 $p_2 - p_1$ 을 측정하면, ρ_1 , ρ_2 및 p_2 가 계산되므로 $\dot{m}_{s,ideal}$ 이 결정된다. 오리피스 유출계수 C_o 는 이젝터의 출구를 폐쇄한 후, 1차 유동이 모두 2차 유로로 배출되도록 하여, 이 때의 1차 유동의 질량유량 \dot{m}_p 과 오리피스 유출계수 C_o 를 구하였다.

Fig. 4는 이와 같이 하여 얻어진 \dot{m}_s 와 $\dot{m}_{s,ideal}$

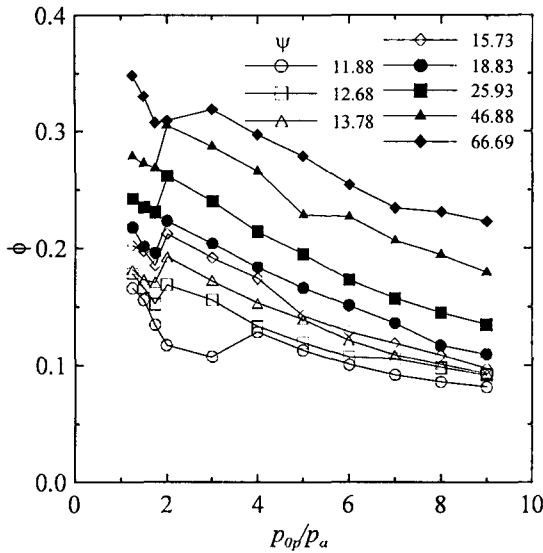


Fig. 5 Relationship between ϕ and p_{0p}/p_a

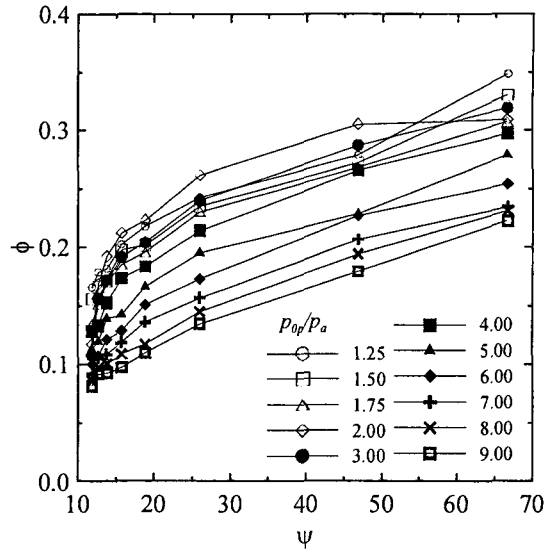


Fig. 6 Relationship between ϕ and ψ

의 관계를 나타내었다. 그림으로부터 C_o 는 작동압력비에 의존하여 다소 변화 하였으나, 대략 $C_o = 0.55$ 정도 이었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 가변형 음속 이젝터

Fig. 5는 가변형 음속 이젝터의 작동압력비 변화가 2차 유동의 재순환율에 미치는 영향을 나타낸다. 2차 유동의 재순환율은 2차 유동의 질량유량 \dot{m}_s 와 이젝터 출구로 배출되는 질량유량 ($\dot{m}_p + \dot{m}_s$)의 비 $\phi = \dot{m}_s / (\dot{m}_p + \dot{m}_s)$ 로 정의된다. 주어진 ψ 에 대하여, p_{0p}/p_a 가 증가할 때 ϕ 는 감소하다가 증가한 후, 어떤 p_{0p}/p_a 이상이 되면 다시 감소하는 경향을 나타낸다. $\psi = 11.88$ 의 경우 작동압력비가 4.0이상에서 ϕ 는 다시 감소하며, $\psi = 12.68 \sim 46.88$ 와 $\psi = 66.69$ 의 경우에는 작동압력비가 각각 2.0와 3.0이상에서 ϕ 가 작아진다. 이것은 노즐 출구의 유동이 아음속 상태($p_{0p}/p_a = 1.25 \sim 1.75$)에서 초음속 상태($p_{0p}/p_a \geq 2.00$)로 될 때 유동이 부족팽창 체트상태로 팽창하여 \dot{m}_s 가 급격히 증가하고, p_{0p}/p_a 가 더욱 증가하는 경우 \dot{m}_s 는 어느 일정한 값으로 도달하기 때문이다.

Fig. 6에는 이젝터의 작동압력비가 2차 유동의 재순환율에 미치는 영향을 나타내었다. 일정한 p_{0p}/p_a 에 대하여, ϕ 는 ψ 가 커질수록 증가하며, ψ 가 작은 경우 ϕ 는 p_{0p}/p_a 에 크게 의존하지 않는 것으

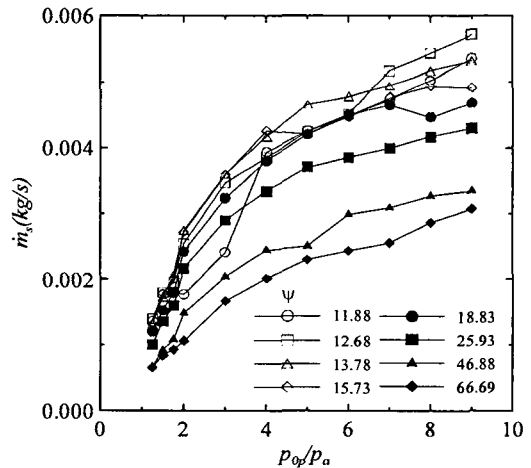


Fig. 7 Secondary mass flow rate variations vs p_{0p}/p_a

로 나타난다.

Fig. 5와 Fig. 6의 결과로부터 콘형 실린더를 이송하여 가변형 음속 이젝터의 목면적비와 압력비를 조정함으로써 2차 유동의 재순환율을 일정 범위에서 변화시키는 것이 가능함을 알 수 있다.

Fig. 7은 이젝터의 목면적비가 $\psi = 11.88 \sim 66.69$ 이 되도록 콘형 실린더를 이송할 때, 2차 유동의 질량유량과 작동압력비의 관계를 나타낸다. 그림에서 \dot{m}_s 는 p_{0p}/p_a 가 커질수록 증가하지만, p_{0p}/p_a 가 커짐에 따라 \dot{m}_s 의 증가율은 점점 감소함을 알 수 있다. 또, 일정한 p_{0p}/p_a 에 대해서 \dot{m}_s 에 미치는 ψ 의

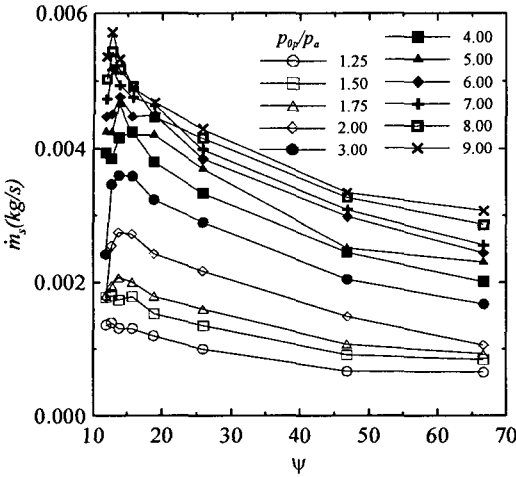


Fig. 8 Secondary mass flow rate variations vs ψ

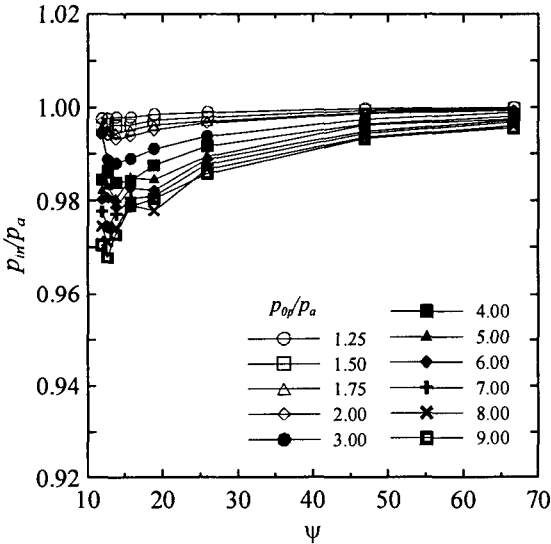


Fig. 9 Inlet wall pressure variations vs ψ

영향은 p_{0p}/p_a 가 낮은 경우에 작지만, p_{0p}/p_a 가 증가하면서 \dot{m}_s 는 ψ 의 영향을 크게 받는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 이젝터의 목면적비 변화에 대한 2차 유동의 질량유량 변화를 나타낸다. $p_{0p}/p_a = 1.25 \sim 1.75$ 의 경우, ψ 가 증가함에 따라서 \dot{m}_s 는 약간 증가하다가 점차 낮아진다. 그러나, 작동압력비가 2.00이상으로 높아지는 경우, ψ 가 증가하면 \dot{m}_s 는 대략 $\psi = 12.00 \sim 19.00$ 의 구간에서 급격하게 증가하여 최고값을 가지고 다시 감소하는 경향을 보인다. 따라서 음속 이젝터의 경우, 노즐 출구의 유동이 초음속 상태($p_{0p}/p_a \geq 2.00$)로 운전될 때, \dot{m}_s 에 미치

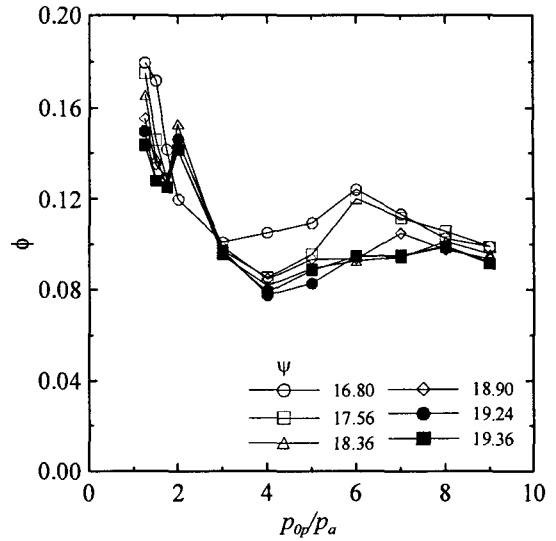


Fig. 10 Relationship between ϕ and p_{0p}/p_a

는 ψ 의 영향이 커짐을 알 수 있다.

Fig. 9는 목면적비의 변화가 2차 유동의 입구에서 발생하는 압력에 미치는 영향을 나타낸다. 주어진 p_{0p}/p_a 에 대하여, ψ 가 최소로 되는 경우 2차 유동의 입구 벽면 압력은 약 $p_{in}/p_a \approx 0.998 \sim 0.971$ 의 값을 가지지만, ψ 가 최대로 되면 대기압으로 근접하며 2차 유동의 입구 벽면 압력에 미치는 p_{0p}/p_a 의 영향은 작아진다. 이 때, 노즐 출구의 유동이 아음속 상태인 $p_{0p}/p_a = 1.25 \sim 1.75$ 의 경우, 주어진 p_{0p}/p_a 에 대하여 ψ 가 증가할수록 p_{in}/p_a 은 단조롭게 증가하여 대기압으로 일정한 값을 가지게 된다. 그러나, 노즐 출구의 유동이 초음속 상태($p_{0p}/p_a \geq 2.00$)로 되면 p_{in}/p_a 에 미치는 ψ 의 영향이 증가하여, $\psi = 12.00 \sim 19.00$ 의 범위에서 압력이 감소와 증가를 반복하고, ψ 가 최대가 되어도 p_{in}/p_a 의 값은 1보다 작다.

3.2 가변형 초음속 이젝터

Fig. 10에는 가변형 초음속 이젝터 시스템에 대하여 이젝터 작동압력비가 2차 유동의 재순환율에 미치는 영향을 나타내었다. 주어진 ψ 에 대하여 ϕ 는 p_{0p}/p_a 가 증가할수록 낮아지다가 $p_{0p}/p_a = 4.0$ 에서 최소값을 가지며, 다시 증가하는 경향을 보인다. 이것은 설계마하수 $M = 1.49$ 인 구동노즐의 적정 팽창에 요구되는 압력비가 $p_{0p}/p_a \approx 3.62$ 이므로, 1차 유동의 체트가 과팽창 상태인 구간에서 ϕ 가 감소하는 것은 p_{0p}/p_a 가 증가할수록 \dot{m}_p 가 증가하는 양보다 \dot{m}_s 의 증가량이 상대적으로 작아지기 때

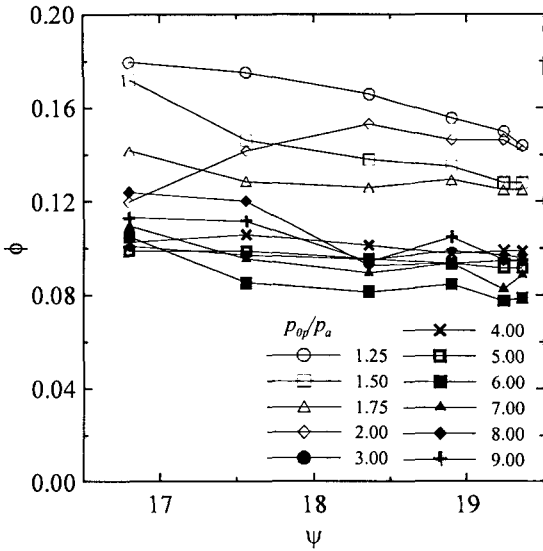


Fig. 11 Relationship between ϕ and ψ

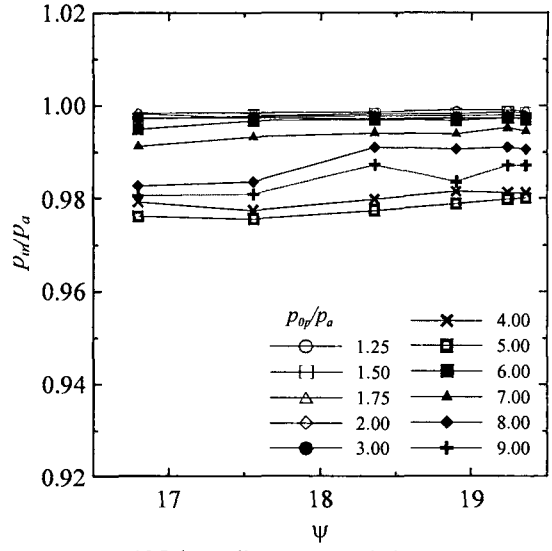


Fig. 13 Inlet wall pressure variations vs ψ

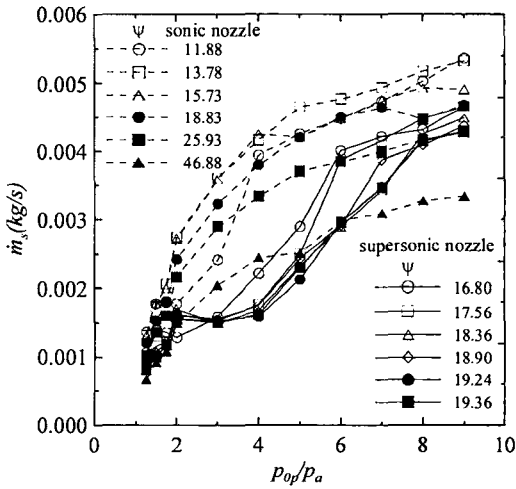


Fig. 12 Secondary mass flow rate variations vs p_{0p}/p_a

문이며, 부족팽창 상태의 구간에서 ϕ 가 증가하는 것은 \dot{m}_s 의 증가율이 커지기 때문이다.

Fig. 11 은 2 차 유동의 재순환율과 이젝터 목면적비간의 관계를 나타낸다. 일정한 p_{0p}/p_a 에 대하여, ϕ 는 ψ 가 증가할수록 낮아지는 것을 알 수 있으며, 이것은 ψ 가 증가할수록 ϕ 가 낮아지는 가변형 음속 이젝터 시스템의 경우와 반대되는 경향을 나타낸다. 이것은 ψ 가 증가하는 경우, 가변형 음속 이젝터에서는 이젝터 목면적이 일정한 상태에서 노즐출구 면적이 감소하지만, 가변형 초음속 이젝터에서는 노즐목면적이 일정한 상태에서 이젝터 목면적이 증가하기 때문이다.

Fig. 12에서 실선은 가변형 초음속 이젝터 시스템의 2차 유동 질량유량과 이젝터 작동압력비의 관계를 나타내고, 동일한 작동압력비에 대해서 가변형 음속 이젝터의 2차 유동의 질량유량 변동을 점선으로 나타내었다. 초음속 이젝터에서 ψ 가 일정한 경우, \dot{m}_s 는 p_{0p}/p_a 가 커짐에 따라 증가하며, $p_{0p}/p_a = 2.0 \sim 4.0$ 에서 \dot{m}_s 는 p_{0p}/p_a 의 증가에 따라 다소 완만하게 증가하지만, $p_{0p}/p_a > 4.0$ 에서는 급격하게 증가한다. 이것은 $p_{0p}/p_a > 4.0$ 에서 1차 유동의 제트가 부족팽창 상태가 되므로, 노즐출구의 유동이 급격하게 팽창하기 때문이다. 한편, 음속 이젝터의 경우에는 $p_{0p}/p_a > 2.0$ 에서 노즐출구 유동의 제트는 부족팽창상태에 있으므로 \dot{m}_s 는 급격하게 증가하다가 p_{0p}/p_a 가 커질수록 증가율은 작아진다.

Fig. 13에는 2차 유동 입구에서 발생하는 압력과 이젝터 목면적비의 관계를 나타내었다. 노즐 출구의 유동이 아음속 상태($p_{0p}/p_a = 1.25 \sim 3.00$)의 경우 2차 유동의 입구 벽면 정압은 대기압과 거의 같지만, 초음속 상태($p_{0p}/p_a \geq 4.00$)로 되는 경우 대기압 이하로 낮아진다. 또, 일정한 p_{0p}/p_a 에 대해서 p_{in}/p_a 는 ψ 의 변화에 대한 영향이 크지 않으며, 동일한 ψ 에 대해서 가변형 음속 이젝터의 경우와 비교하면, p_{in}/p_a 의 값의 변화는 크지 않다는 것을 알 수 있다. 이것은 초음속 이젝터의 경우 노즐 출구에서 발생하는 유동이 ψ 에 크게 영향을 받지 않기 때문이다.

4. 결론

본 연구는 수소 연료전지 시스템에서 수소연료의 재순환 기능을 수행하면서 수소 연료전지의 출

력에 연동하여 수소연료의 재순환량을 조절할 수 있는 이젝터 시스템을 개발하기 위하여, 가변형 음속/초음속 이젝터 시스템에 관한 실험적 연구를 수행하였다. 본 연구의 주요 결론은 다음과 같이 요약된다.

(1) 가변형 음속/초음속 이젝터 시스템은 이젝터 목면적비와 작동압력비를 조정함으로써 일정한 범위에서 시스템에 요구되는 2차 유동의 재순환율을 얻을 수 있다.

(2) 가변형 음속 이젝터 시스템의 경우, 작동압력비가 높을수록 2차 유동의 질량유량 변화에 대한 이젝터 목면적비의 영향은 증가한다.

(3) 가변형 음속 이젝터 시스템에서 작동압력비가 일정한 경우, 2차 유동의 재순환율은 이젝터 목면비가 커질수록 증가한다.

(4) 가변형 초음속 이젝터 시스템의 경우, 일정한 작동압력비에 대하여 2차 유동의 재순환율은 이젝터 목면적비가 커질수록 감소한다.

후 기

이 논문은 2004학년도 안동대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- (1) Keenan, J. H., Neumann, E. P. and Lustwerk, F., 1950, "An Investigation of Ejector Design by Analysis and Experiment," *Journal of Applied Mechanics*, Vol. 17, No. 3, pp. 299~309.
- (2) Alperin, M. and Wu, J. J., 1983, "Thrust Augmenting Ejector, Part 2," *AIAA Journal*, Vol. 21, No. 12, pp. 1698~1706.
- (3) Yang, T. T., Ntone, F., Jiang, T. and Pitts, D. R., 1985, "An Investigation of High Performance, Short Thrust Augmenting Ejectors," *Jour. Fluids Eng.*, Vol. 107, pp. 23~30.
- (4) Binder, G. and Didelle, H., 1975, "Improvement of Ejector Thrust Augmentation by Pulsating or Flapping Jets," *2nd Symposium on Jet Pumps & Ejectors and Gas Lift Techniques*, Paper E2, pp. 15~26.
- (5) Barankiewics, W. W., Perusek, G. P. and Ibrahim, M. B., 1994, "Approximate Similarity Principle for a Full-Scale STOVL Ejector," *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 10, No. 2, pp. 198~203.
- (6) Quinn, B., 1976, "Ejector Performance at High Temperatures and Pressures," *Journal Aircraft*, Vol. 13, No. 12, pp. 948~954.
- (7) Francis, W. E., Hoggarth, M. L. and Templeman, J. J., 1972, "The Design of Jet Pumps and Injectors for Gas Distribution and Combustion Purposes," *Symposium on Jet Pumps and Ejectors, BHRA Fluid Engineering-Institution of Chemical Engineers*, London, England, No. 6, pp. 81~96.
- (8) Lim, J. W. and Lee, S. H., 2000, "Engine Room Cooling System Using Jet Pump," *Proceedings of the KSME 2000 Spring Annual Meeting B*, pp. 162~167.
- (9) Dutton, J. C. and Carroll, B. F., 1983, "Optimized Ejector-Diffuser Design Procedure for Natural Gas Vapor Recovery," *Trans. of ASME, Journal of Energy Resources Technology*, Vol. 105, pp. 388~393.
- (10) Nagahiro, J., Iwamoto, J. and Higuchi, K., 1992, "Experiments for Fine Air Bubble Production in Liquids Using Ejectors," *Trans. American Society of Agricultural Engineers*, Vol. 35, No. 5, pp. 1581~1590.
- (11) Aiken, T. N., 1973, "Aerodynamics and Noise Measurements on a Quasi-Two-Dimensional Augmenter Wing Model with Lose-Type Nozzles," *NASA TMX-62237*, Sept.
- (12) Quinn, B., 1977, "Interaction between Screech Tones and Ejector Performance," *J. Aircraft*, Vol. 14, No. 5, pp. 467~473.
- (13) Viets, H., Campbell, J. R. and Korkan, K. D., 1981, "Acoustic Interactions in Ejectors," *AIAA Paper 81-2045*, Oct.
- (14) Larminie, J. and Dicks, A., 2000, "Fuel Cell Systems Explained," *John Wiley & Sons, Ltd.*, Chichester, pp. 246~247.
- (15) Choi, B. G., Lee, Y. K., Kim, H. D. and Kim, D. J., 2000, "Computations of the Supersonic Ejector Flows with the Second Throat," *Trans. of the KSME B.*, Vol. 24, No. 8, pp. 1128~1138.
- (16) Choi, B. G., Kwon, O. S. and Kim, H. D., 2002, "An Experimental Study of Sonic/Supersonic Ejector Flows," *Trans. of the KSME B*, Vol. 26, No. 5, pp. 640~647.
- (17) Oosthuizen, P. H. and Carscallen, W. E., 1997, "Compressible Fluid Flow," *McGraw-Hill Book Co.*, pp. 192~195.
- (18) Kim, H. D., 1998, "Reduction of Normal Shock-Wave Oscillations by Turbulent Boundary Layer Flow Suction," *Trans. of the KSME B*, Vol. 22, No. 9, pp. 1229~1237.